

# 塑性加工技術の動向

戸澤 康壽\*

## 1. 緒言—塑性加工の研究対象

塑性加工は数多くある生産加工プロセスの一つに過ぎないが、それでも塑性加工を取巻く問題は多種多様である。図1はそれらの問題の研究対象を模式的に示したものである。図では圧延に似た連続加工が描いてあるが、プレス加工のような不連続加工についても全く同じである。「1)素材」は変形特性が問題点であり、「2)変形」は材料流れ、応力およびひずみの分布など加工時の主要問題点である。そして工具との「4)界面」における摩擦は、潤滑剤の問題も含めて「2)変形」を支配し、また同時に「5)工具」の摩耗にも大きな影響

を与える。「5)工具」については摩耗のほか、変形、強度も加工技術上重要な問題である。加工力による変形は「6)機械」においても製品精度上問題となるものであるが、運転性能は「6)機械」としての生命である。作業が順調に行われるためには、適切な「7)計測」のうえ「8)制御」が必要となってくる。加工材は「3)製品」となるが、その特性、寸法精度、表面状態などが問題点である。しかし見方によってはこの製品は次工程の素材であるので、「1)素材」としての問題点もかかえている。そして最終製品に至るまでの「9)生産工程」の最適化が、加工プロセスとしてみた場合の最重要研究対象となるのかもしれない。

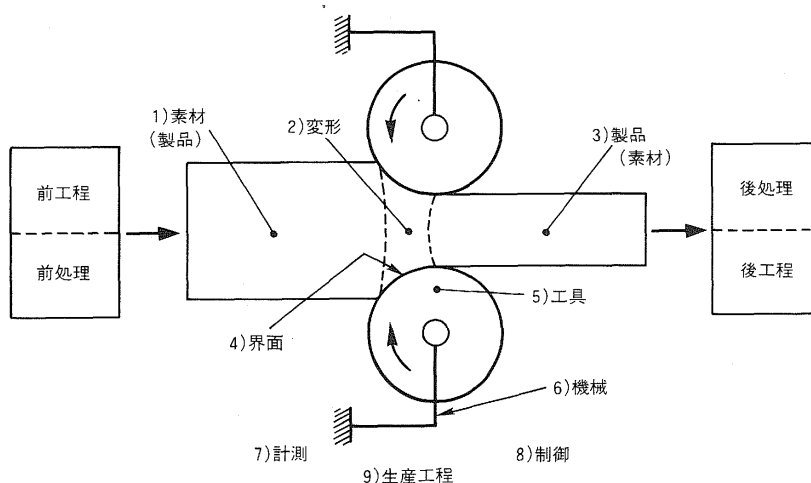


図1 塑性加工の研究対象

## 2. 塑性加工技術の指向していること

上述のように塑性加工は広範な問題をかかえており、それぞれの解明、改善に日夜努力が続けられているが、現在の状況の中でどのような方向を目指してそれらが行われているかを整理すると、次の3項目にまとめることができよう。

### 2.1 トータルコストの低減

生産加工である以上コスト低減は当然のことではあるが、重要なことは特定のプロセスの中だけでなく全工程にわたっての問題であり、塑性加工以外のプロセスも含めた生産工程の最適化がはからなければならない。その中には当然、歩留りの向上や省力化が含まれるし、コスト以外の面からも最近特に重要視されている省エネルギー問題は主要な対象である。

### 2.2 高品質製品の生産

製品品質の対象の一つは精度であるが、塑性加工は粗加工というイメージを破るためだけでなく、自動化による省力化を進めるためにも、工程の削減のためにも、製品の精度向上は依然として解決すべき課題である。一方機能上の品質は素材に負う所が大きく、種々の要望に応えるために新機能材料の開発が活発に行われている。しかしそれらの多くは難加工材であるために、それらに対する加工の方法・条件を見出すことが、その材料が有効に利用されるための必要条件となっており、ここにも塑性加工技術に期待される多くのものがある。さらに塑性加工の大きな特徴である加工による材質改善は、製品の高機能化に直結する問題であり、今後益々活用されるべきものであろう。

### 2.3 多品種少量生産への対応

多量生産においてその威力を十二分に発揮する塑性加工は、多品種少量生産をもっとも不得意とするが、加工による材質改善を含めた高機能製品の生産のためにも、多品種少量生産への対応がせまられている。FMSの採用のほか、CAD、CAM、CAE等々コンピュータを利用した技術は、トータルコスト低減のためにも、一層積極的に導入され進展するであろう。

以下、各項目について具体的問題を探り上げて

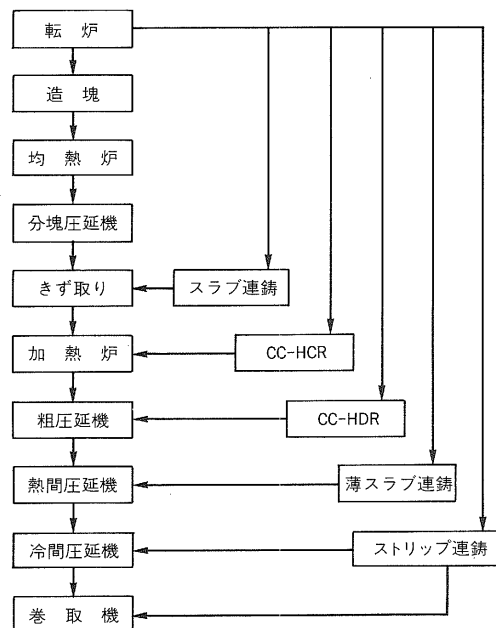


図2 各種のストリップ製造プロセス

みよう。

## 3. コスト低減のための生産方式および工程の選定

### 3.1 凝固プロセスの利用

鋳塊を分塊圧延する工程に代って連続鋳造 (CC) が多用されるようになって久しいが、最近では図2に示すように、CCスラブを冷やさないで炉中に保持する方式 (CC-HCR)、炉に入れることなく粗圧延機に直送する方式 (CC-HDR)、CCスラブの厚さを薄くして、いきなり熱間圧延機、あるいは冷間圧延機に送る方式 (THIN SLAB C., STRIP C.)、さらには全く圧延しないものなど、種々のストリップ製造プロセスが開発されている。これらはいずれも省エネルギー化をねらったもので、図3に見られるとおりその効果は極めて大きい。アルミニウムの線および薄板の製造には、すでにいろいろな形式の機械を用いてこれらの方式が採用されている。

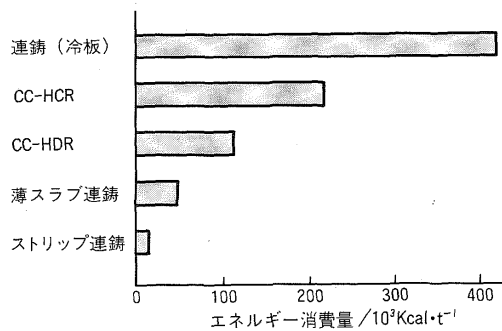


図3 各製造プロセスのエネルギー消費量

同様の考えに基づき、ロールを用いた急冷凝固法による極薄板の製造が行われている。

半熔融状態での加工は、複合材料も含め、圧延、押出し、鍛造などに効果的に利用されている。

### 3.2 他の加工方法と組合せたプロセス

スラブ圧延において発生する先後端部の平面形状不良に基づくクロップロス、予めスラブを幅方向から金型を用いてプレスすることにより大幅に低減される。これは圧延工程に鍛造プロセスを組込んだものである。

鍛造部品を切削により仕上げることは古くから行われていることであるが、最近では鍛造による加工精度が向上したこともあって、複雑形状部品の中間形状を切削加工により作り仕上げ工程として鍛造を用いることも行われている。

このように鍛造と切削とが同一部品の生産プロセスに採り入れられると、被加工材には鍛造性と切削性の全く反対の特性が要求されることになり、したがってそれなりの材料開発が行われている。

### 3.3 素材形状の選択

カップ状容器は、もし薄肉なら板の深絞りにより、厚肉ならピレットから後方押出しにより、それぞれ製造するのが適当であるが、板成形加工では製造困難な部品でも比較的肉の薄いものであれば板状素材から鍛造の方が容易な場合がある。しかし、板状素材を利用するときには、素材取りの際の歩留りを考慮に入れる必要がある。棒状素材からピレットを切断する方法として、経済的にはせん断の方が有利な条件(図4)のときでも、切断面性状が鍛造製品の機能に影響を与える場合に

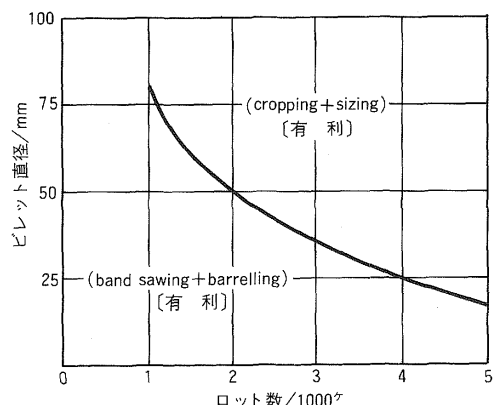


図4 寸法と数量による素材取り方法の経済性(K.Lange)

はのこ切断を採用すべきこともある。

粉末素材の利用は、特に複雑な形状の部品の場合には鍛造工程を著しく削減できるなど多くの利点を有しており、適用範囲は今後も拡大するであろうが、粉末そのものを得るまでのエネルギー消費量ならびに素材としての価格も、並行して考慮すべき項目であろう。

### 3.4 加工温度の選定

熱間・温間・冷間それぞれでの加工の利点を生かして、たとえば鍛造の初期工程は熱間で、仕上げ工程は冷間でといったような組合せは有効な手段である。

中高炭素鋼を300~600℃の温間で減面率80%以上の加工度を与えれば、焼入れ焼もどし材と同等の強靱性が得られ、また焼入れ後400~600℃に急加熱し、その温度で加工する焼もどし温間鍛造法によっても、加工後の熱処理なしに強靱な製品が得られる。

### 3.5 加工機械、加工技術の選定

以上の各項目が内容として含まれてしまうかもしれないが、最適のプロセスとするために新しい技術や機械の開発を含めて、それらの適切な選定が必要である。

## 4. 製品の高機能化

### 4.1 塑性加工に適した新機能材料の開発

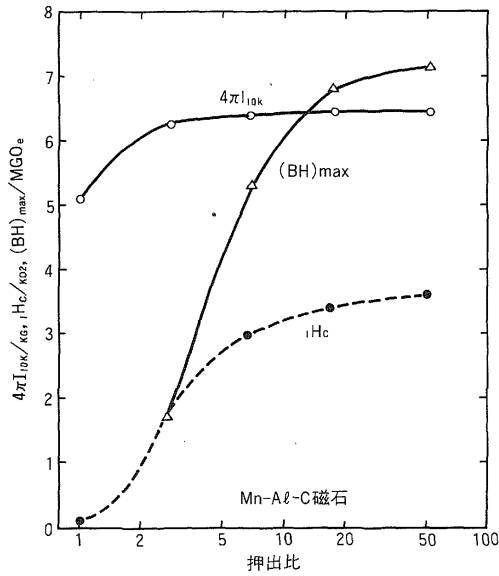


図5 押し加工での磁気特性変化

自動車車体用薄鋼板に多用されるようになった高張力鋼板において、固溶C量を調整し、それによって成形性が改善されながら塗装焼付硬化により成形品の耐デント性が損われないBH鋼板が開発されたが、これは塑性加工を対象とした材料開発の理想の姿ともいえる。

高硬度 (HCR55~60) ステンレス鋼において、炭化物を細粒化して延性増加をはかり、Siを抑制して変形抵抗を低下させ、それによって冷間鍛造性が大幅に改善されている。

#### 4.2 加工による高機能化

結晶集合組織の制御による異方性の強化を基とした高機能化は、塑性加工独特のものであり、これまでも多くの例がある。

トランス鉄心に使われる方向性珪素鋼板において、AlN析出焼鈍のあと85%の高圧下圧延をすることによって結晶方位を理想方位に近づけ、極めて高い磁束密度が得られている。

深絞り用鋼板は高r値材料であるが、これも圧延条件、熱処理条件を適当に選び集合組織制御することによって作られている。

最近の話題の一つは高特性永久磁石の創製であろう。図5はMn-Al-C粉末を磁場中で成形

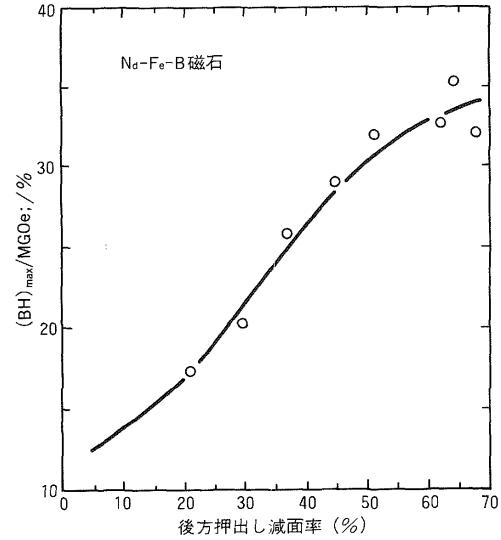


図6 押し加工による最大磁気エネルギー積の変化

焼結したあとの押し加工によって、最大磁気エネルギー積 (BH) max、飽和磁化  $4\pi I_{10k}$ 、保持力  $iH_c$ 、いずれの磁気特性も著しく改善されることを示している。図6はNd-Fe-B磁石の例であるが、図5と比較しても定量的に極めて高い磁気特性が得られることがわかる。

複合材料は単一材料では得られない特性を付与できることから種々開発されているが、6061-Al粉末と  $Si_3N_4$  ウィスカの混合・焼結材を熱間押しすることによって540~560°Cで300%以上の全伸びを示す超塑性現象が現れて成形容易となり、しかも室温では引張り強さ約40kgf/mm<sup>2</sup>、全伸び13%という優れた機械的性質を持つ複合材料も開発されている。

#### 5. シミュレーションの有効利用

コンピューターシミュレーションは、個々の問題に対してはいうに及ばず、それらを総合した生産工程の最適化問題を処理するための極めて強力な武器である。そして現在ではシミュレーションの仕方、いわゆるソフトに関しては、種々開発もされ、多くの事例も発表されて、最終的結論ではないにしてもそれなりの答が出ているように思わ

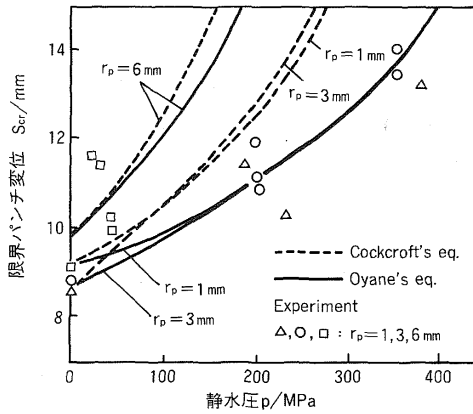


図7 破壊条件式による  
限界曲げパンチ変位の予測 (小野)

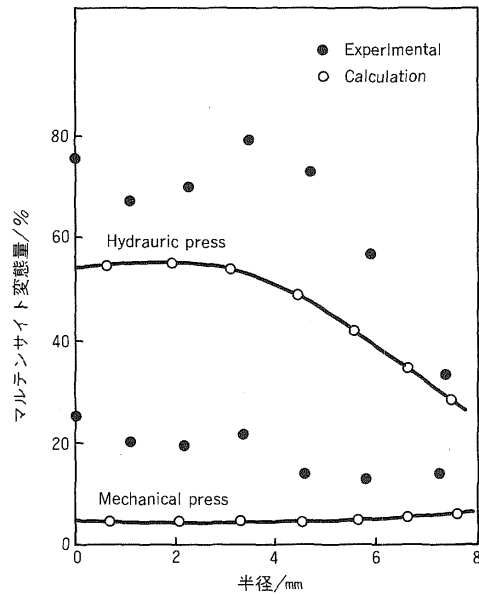


図8 オーステナイトステンレス鋼の据込み加工  
によるマルテンサイト変態量 (品川)

れる。しかし現実にはシミュレーション結果の真実性について必ずしも満足できる状態にはない。シミュレーションをさらに有効に利用してゆくためには、この真実性を高める必要があり、それにはつぎのような基礎的問題が解決されていなければならないであろう。

### 5.1 塑性構成式の高精度化

被加工材料は、一般に引張試験や圧縮試験のような単純かつ単調な応力ではなく、組合せ応力のもとで加工され、しかも加工中にその組合せ状態が変化し、ひずみ経路が単調ではない。そして素材そのものも必ずしも等方性でないし、さらに変形が進むにつれて異方性が発達していく。ひずみ速度も一定ではなく、温度は変形による発熱とともに伝熱、輻射が生ずるので複雑に変化する。このような多くの因子によって塑性変形挙動はどのように影響されるのか、構成式として表示されなくともデータベースが構築されている必要がある。そのためには測定方法の検討から始めなければならないであろう。

### 5.2 摩擦抵抗の定量化

摩擦抵抗を摩擦係数で表現するとすれば、その

値を摩擦条件が与えられれば決定できるようにすることである。摩擦抵抗は相手金属によっても変わるであろうし、刻々変化するであろう表面状態、潤滑剤の特性と量、接触圧力、界面温度、さらには相対的な変位速度や変位量にも影響すると思われる。現状では解析結果を通じて平均的摩擦係数を測定するか、特定条件のもとでの値を実験的に求めているに過ぎず、大きな未解決の問題である。

### 5.3 延性破壊条件の確立

すでに多くの破壊条件式が提示されているが、いずれも応力あるいは応力履歴に依存するとされている。それらは実験と比較されており、たとえば図7のように大矢根の式が最もよく合うと報告されている。しかし他の負荷条件、引張りおよび圧縮の場合にもよく一致はするものの、すなわち条件式中の材料定数は負荷条件によって別の値をとらなければならないという問題が提起されている。加工時の破壊を対象にするならば、変形中の温度変化をどのように考慮したらよいかも問題であり、さらに破壊発生点だけでなくその周囲の条件、たとえば応力あるいはひずみの勾配も影響を

与えるものと考えられる。

#### 5.4 組織変化の定量的記述

材質改善の可能なことが塑性加工の一つの特徴であるだけに、加工による材質の変化についてのシミュレーションも最近多く行われるようになってきた。すなわち希望する材質を得るための最適の加工条件を見出すためにシミュレーションを利用しようというものである。このシミュレーションのためには、応力あるいはひずみ状態、温度とその変化速度ならびに保持時間などのシミュレーション結果が必要になるが、仮にそれらが正しく求められたとしても材質の予測が適切にできないのが現状である。図8はステンレス鋼を据込み加工したときの中央横断面におけるマルテンサイト変態量の分布である。材料学的問題を定量的に処

理できるようにすることが必要である。

#### 6. 結言

現在は塑性加工そのものが生産加工プロセスの中でかなり厳しい状態に置かれているとの見方もできよう。それは最初にも述べたとおり、塑性加工の得意とする多量生産の時代から不得意な多品種少量生産に対応しなければならない時代になってきたからである。しかし、塑性加工には逆に他の加工には見られない長所もあるので、この長所を積極的に生かせるような道をさぐるとともに、生かせるような方法を見出すことが、単に塑性加工の生き残りのためではなく、生産加工全体の技術向上に直結する課題であろう。